

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2010

Markéta Franková

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Měření na kondenzátorech

Measurement of capacitors

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Markéta Franková**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: Měření na kondenzátorech.
Measurement of capacitors.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Základní vlastnosti a struktura kondenzátorů.
3. Dielektrika v kondenzátorech a druhy kondenzátorů.
4. Měření kapacity kondenzátorů svitkových a keramických v závislosti na teplotě.
5. Porovnání výsledků měření s údaji výrobce.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Krejčířík, A - Napájecí zdroje III.
2. Tesla - konstrukční katalog - pasivní elektrotechnické součástky.
3. Katalogy výrobců a dodavatelů.
4. WWW stránky výrobců a dodavatelů.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Helštýn**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Ráda bych na tomto místě poděkovala mému vedoucímu Ing. Davidovi Helštýnovi za cenné připomínky a nápady, které mi pomohly vylepšit a zdokonalit výslednou podobu mé práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Ostravě 6. května 2010

.....

Abstrakt

Smyslem této práce je proměření hodnot kondenzátorů a porovnání těchto dat s údaji, které poskytují výrobci. Zjišťovala jsem, zda si kondenzátory uchovají své vlastnosti i při extrémních teplotách. Součástí této práce je také teoretický rozbor vlastností kondenzátorů a jejich struktury.

Klíčová slova: kondenzátor, kapacita, činitel jakosti, ztrátový činitel, kapacita, teplotní závislost, dielektrikum,

Abstract

Purpose of this work is measure values of capacitors and compare this values with data from producer. I investigated if capacitors safe their properties in extreme temperatures. Component of this work is theoretical analysis of capacitors properties and their structure.

Keywords: capacitor, capacity, quality factor, loss factor, temperature dependence, dielectric

Seznam použitých zkratek a symbolů

C [F]	kapacita
d [m]	vzdálenost
f [Hz]	frekvence
FKP	označení foliového polypropylenového kondenzátoru
FKS	označení foliového polystyrénového kondenzátoru
I [A]	proud
MKP	označení polypropylenového kondenzátoru
MKS	označení polystyrénového kondenzátoru
Q [C]	náboj
S [m ²]	plocha
t [°C]	celsiova teplota
t [s]	časová konstanta
tg δ	ztrátový činitel
U [V]	napětí
Z [Ω]	impedance
ε	permitivita

Obsah

1	ÚVOD.....	7
1.1	HISTORIE.....	7
1.2	POUŽITÍ.....	8
2	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI A STRUKTURA KONDENZÁTORŮ.....	8
2.1	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI A VZORCE.....	8
2.2	STRUKTURA KONDENZÁTORŮ.....	11
2.2.1	Deskové kondenzátory.....	11
2.2.2	Keramické kondenzátory.....	11
2.2.3	Kondenzátory s papírovým dielektrikem.....	12
2.2.4	Kondenzátory s plastickou fólií.....	12
2.2.5	Slídové kondenzátory.....	12
2.2.6	Otočné vzduchové kondenzátory.....	12
2.2.7	Elektrolytické kondenzátory.....	12
2.3	KONDENZÁTOR V ELEKTRICKÉM OBVODU.....	13
2.3.1	Nabíjení kondenzátoru.....	13
2.3.2	Vybíjení kondenzátoru.....	13
2.3.3	Chování kondenzátoru při stejnosměrném napětí.....	13
2.3.4	Chování kondenzátoru při střídavém napětí.....	14
3	TYPY KONDENZÁTORŮ.....	14
3.1	DĚLENÍ KONDENZÁTORŮ Z HLEDISKA PROVEDENÍ.....	15
3.1.1	MP kondenzátory (metalizovaný papír).....	15
3.1.2	MK kondenzátory (plastové pouzdro).....	16
3.1.3	Styroflexové a polypropylenové kondenzátory.....	16
3.1.4	Hliníkové elektrolytické kondenzátory.....	17
3.2	DĚLENÍ KONDENZÁTORŮ PODLE FUNKCE.....	18
3.2.1	Filtrovací (akumulační) kondenzátory.....	18
3.2.2	Impulzní kondenzátory.....	18
3.2.3	Útlumové kondenzátory.....	19
3.2.4	Komutační kondenzátory.....	19
3.2.5	Výkonové kondenzátory.....	19
4	MĚŘENÍ NA KONDENZÁTORECH.....	20
4.1	TESLA MKP KONDENZÁTORY MOTOROVÉ - SVITKOVÉ.....	23
4.1.1	Použití.....	23
4.1.2	Provedení.....	24
4.1.3	Elektrické vlastnosti.....	24
4.1.4	Naměřené hodnoty.....	24

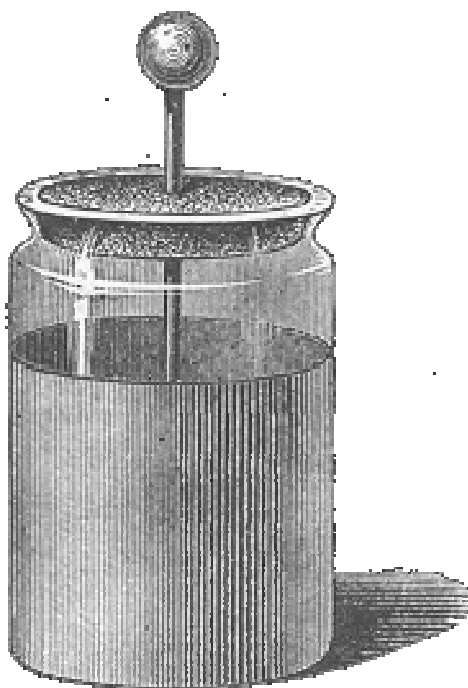
4.1.5	Ztrátový činitel $\text{tg} \delta$	24
4.1.6	Porovnání jednotlivých kondenzátorů Tesla	30
4.1.7	Výsledek měření.....	31
4.2	ARTIKO KONDENZÁTORY MOTOROVÉ – SVITKOVÉ	33
4.2.1	Elektrické vlastnosti	33
4.2.2	Naměřené hodnoty.....	33
4.2.3	Porovnání jednotlivých kondenzátorů Artiko	36
4.2.4	Výsledek měření.....	37
4.3	NONAME KONDENZÁTORY MOTOROVÉ - SVITKOVÉ	38
4.3.1	Elektrické vlastnosti	38
4.3.2	Naměřené hodnoty.....	39
4.3.3	Porovnání jednotlivých kondenzátorů Noname.....	42
4.3.4	Výsledek měření.....	43
4.4	KONDENZÁTORY FÓLIOVÉ A KERAMICKÉ	44
5	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ S ÚDAJI VÝROBCE.....	46
6	ZÁVĚR.....	47
7	LITERATURA	48

1 Úvod

1.1 Historie

Prvním typem kondenzátorů byla Leydenská láhev, která byla od poloviny 18. století prvním přístrojem, který dokázal uchovávat elektrický náboj (v podstatě dnešní princip kondenzátoru) pro pozdější využití v podobě experimentů s elektřinou.

Název získala láhev podle Univerzity v Leidenu v Holandsku, kde s ní v roce 1746 experimentoval Pieter van Musschenbroek. Nezávisle na jeho výzkumu, objevil tuto láhev o rok dříve německý fyzik Ewald Georg von Kleist. Ve stejné době se objevil i první skutečný deskový kondenzátor: skleněná deska potažená z obou stran měděnou fólií.



Obrázek 1: Leydenská láhev

1.2 Použití

Kondenzátory jsou jednou ze základních součástek používaných v obvodech. Společně s rezistory a cívkami se řadí do skupiny tzv. pasivních součástek. Existuje mnoho typů kondenzátorů, které se odlišují z hlediska materiálů, konstrukce, ale také podle účelu použití. Využití kondenzátorů je velmi rozmanité, často se používají jako vazební členy mezi obvody, v laděných obvodech, ve vysokofrekvenčních filtrech, k vyhlazení usměrněného střídavého napětí ve zdrojích, v časovacích obvodech apod. Dají se využívat také pro silnoproudou elektrotechniku a to jako rozběhové kondenzátory pro motory, pro zářivková svítidla, jako kompenzační baterie a ve spoustě dalších aplikací. Ideální kondenzátor má jen kapacitu, posouvá fázi o 90° a nemění elektrickou energii v teplo.

2 Základní vlastnosti a struktura kondenzátorů

2.1 Základní vlastnosti a vzorce

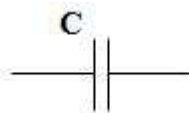
Základní vlastností kondenzátorů je schopnost jímat elektrický náboj, jejich charakteristickou vlastností je kapacita C , jednotkou je pak farad F . Protože se jedná o jednotku velmi velkou, v praxi se setkáváme výhradně s kapacitami mnohem menšími:

$$\text{mF} - 10^{-3} \text{ F}$$

$$\mu\text{F} - 10^{-6} \text{ F}$$

$$\text{nF} - 10^{-9} \text{ F}$$

$$\text{pF} - 10^{-12} \text{ F}$$



Obrázek 2: Schématická značka kondenzátoru

Kapacita kondenzátoru je dána vztahem:

$$C = \varepsilon \cdot (S / d) \quad (1.1)$$

kde:

$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$ přičemž

$\varepsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ permitivita vakua

ε_r je permitivita udávající vlastnosti použitého dielektrika

S – plocha překrytí desek

d – vzdálenost desek od sebe

Z uvedeného vztahu je patrné, že pro konstrukci kondenzátoru s co největší kapacitou je třeba realizovat systém, který má co největší plochu elektrod, při nejmenší vzdálenosti mezi nimi za použití dielektrika, které má co největší relativní permitivitu. Konstrukce kondenzátoru je taková, abychom podle uvedeného vztahu dosáhli co největší objemové kapacity.

Kondenzátor je schopen akumulace elektrického náboje Q při přiloženém napětí U do kapacity C. Velikost tohoto náboje je dána vztahem:

$$Q = C \cdot U, \quad (1.2)$$

Q.....náboj (coulomb),

C.....kapacita (farad),

U.....napětí (volt).

Vlastnosti kondenzátoru, do značné míry nezávisle na jeho druhu, lze popsat následujícími parametry:

- velikost kapacity (její jmenovitá hodnota a tolerance); Jmenovitá kapacita je výrobcem předpokládaná kapacita vyznačená na kondenzátoru. Tolerance jmenovité kapacity kondenzátoru je největší odchylka skutečné kapacity kondenzátorů od jmenovité kapacity vyjádřená v procentech jmenovité kapacity. Na součástkách se většinou neuvádí, výrobce ji uvádí pro jednotlivé typy v katalogu
- teplotní závislost kapacity
- napěťová závislost kapacity
- izolační odpor (zbytkový proud) kondenzátoru je odpor mezi elektrodami kondenzátoru měřený stejnosměrným napětím při teplotě + 20 °C. Je tvořen odporem dielektrika a izolace, která elektrody kondenzátorů obklopuje.
- ztrátový činitel kondenzátoru $\tan \delta$ - charakterizuje ztráty energie kondenzátoru, které jsou způsobeny ztrátami v dielektriku a svodem mezi elektrodami. Uvádějí se pro jednotlivé typy kondenzátorů v katalogu.
- kmitočtová závislost kapacity (impedance kondenzátoru)
- maximální provozní napětí kondenzátoru
- maximální provozní proud kondenzátorem
- maximální výkon kondenzátoru
- stárnutí kondenzátoru (časová změna parametru)

[1], [2]

2.2 Struktura kondenzátorů

Kondenzátory se vyrábějí v mnoha provedeních (vzduchové, keramické, deskové, skleněné, slídové, s dielektrikem z plastových fólií, papírové, slídové, elektrolytické hliníkové a tantalové, zvláštní kapacitory např. vakuové, olejové, plněné stlačeným plynem), jejichž předpokládané oblasti použití a tím i vlastnosti se liší daleko více, než třeba u různých druhů rezistorů. Podle provedení rozlišujeme kondenzátory pevné (s neproměnnou kapacitou) a s proměnnou kapacitou (ladicí a doladovací).

V této kapitole jsou popsány kondenzátory:

- Deskové
- Keramické
- S papírovým dielektrikem
- S plastickou fólií
- Slídové
- Otočné vzduchové
- Elektrolytické

2.2.1 Deskové kondenzátory

Tvoří je 2 rovnoběžné, navzájem izolované vodivé desky. Mezi deskami vznikne homogenní elektrické pole. Kapacita kondenzátoru je přímo úměrná obsahu účinné plochy desek a nepřímo úměrná vzdálenosti desek. Vyplníme-li prostor mezi deskami kondenzátoru dielektrikem, jeho kapacita se zvětší (vložením dielektrika klesne intenzita a napětí, aby vzniklo pole s původní intenzitou musíme na desky přivést větší náboj, než u kondenzátorů bez dielektrika).

2.2.2 Keramické kondenzátory

Keramické kondenzátory mají dielektrikum ze speciální keramiky s velkou permitivitou a malými dielektrickými ztrátami. Keramická hmota je ve tvaru fólií, destiček nebo trubiček. Na povrchu jsou napařeny elektrody, na které jsou připájeny vývody. Povrch je chráněn vrstvou tmelu.

2.2.3 Kondenzátory s papírovým dielektrikem

Kondenzátory s papírovým dielektrikem jsou tvořeny dvěma hliníkovými fóliemi, oddělenými speciálním kondenzátorovým papírem. Podobné jsou kondenzátory s metalizovaným papírem, kdy se místo fólií používá napařených kovových vrstev.

2.2.4 Kondenzátory s plastickou fólií

Kondenzátory s plastickou fólií místo kondenzátorového papíru používají tenkou izolační fólii (polyester, polystyren apod.).

2.2.5 Slídové kondenzátory

Slídové kondenzátory jsou sestaveny z jedné nebo více postříbřených jakostních slídových destiček.

2.2.6 Otočné vzduchové kondenzátory

Je nejstarší typ proměnného kondenzátoru. Má dvě hlavní součásti (rotor a stator). Na rotoru i statoru jsou umístěny desky které se otáčením zasouvají a vysouvají do sebe. Jako dielektrikum je použit vzduch, někdy můžeme najít i polystyren, olej nebo jiné látky. Tyto kondenzátory se v dnešní době již nepoužívají.

2.2.7 Elektrolytické kondenzátory

Jsou tvořeny malou hliníkovou nádobkou s elektrolytem (např. vodný roztok boraxu a kyseliny borité), do které jsou ponořeny hliníkové elektrody. Při výrobě se k této soustavě připojí zdroj napětí a elektrolýzou se na elektrodách vytvoří tenká vrstvička (asi 0,0001 mm) nevodivého oxidu hlinitého. Tím se dosáhne velké kapacity kondenzátoru i při jeho malých rozměrech.

2.3 Kondenzátor v elektrickém obvodu

2.3.1 Nabíjení kondenzátoru

Po připojení kondenzátoru do obvodu se zdrojem stejnosměrného napětí se na deskách kondenzátoru začne hromadit elektrický náboj - kondenzátor se nabíjí. Nabíjení probíhá, dokud se nevyrovná elektrický potenciál na každé z desek s potenciálem příslušného pólu zdroje. Po nabití je mezi deskami kondenzátoru stejné elektrické napětí jako mezi svorkami zdroje a obvodem neprochází elektrický proud.

2.3.2 Vybíjení kondenzátoru

Jestliže se desky kondenzátoru vodivě propojí, elektrický náboj z desek se odvede, kondenzátor se vybije. Tento přesun elektrického náboje způsobí v obvodu elektrický proud.

Vybíjecí proud může v případě malého odporu vybíjecího obvodu dosáhnout obrovských špičkových hodnot. To má většinou nejen škodlivé účinky na vybíjecí obvod a kondenzátor samotný, ale vede to i k částečnému vyzáření jeho energie ve formě interferenčního rušení.

2.3.3 Chování kondenzátoru při stejnosměrném napětí

Je-li kondenzátor připojen na stejnosměrné napětí, nastane na něm přechodový děj, při kterém bude kondenzátorem protékat stejnosměrný proud, jenž je potřebný k jeho nabití. Pokud nebude docházet k vybíjení kondenzátoru (připojeným obvodem nebo vnitřním svodem kondenzátoru), stejnosměrný proud po dosažení maximální kapacity již kondenzátorem nebude nadále protékat, čehož se v praxi využívá u tzv. oddělovacích kondenzátorů. Při přiloženém stejnosměrném napětí se tedy funkce kondenzátoru omezuje na akumulaci náboje v závislosti na velikosti nabíjecího proudu a na době nabíjení. Nabíjecí a vybíjecí proud tedy do kondenzátoru přitéká jen po dobu jeho nabití resp. vybití. Kapacita kondenzátoru je zde chápána pouze jako schopnost akumulovat náboj do určité hladiny.

2.3.4 Chování kondenzátoru při střídavém napětí

Pro střídavá napětí propouští kondenzátor pouze napěťové změny, z čehož vyplývá, že pro lepší funkci je vhodné volit napětí o vyšší frekvenci, u nízkofrekvenčních střídavých napětí se změny napětí a polarity projevují pomaleji. Kapacitu kondenzátoru je v tomto režimu nutné volit tak, aby byl schopen zaznamenávat všechny změny střídavého signálu. Platí, že čím je kapacita kondenzátoru vyšší, tím lépe tato napětí přenáší.

V obvodu střídavého proudu představuje kondenzátor impedanci –kapacitní reaktanci:

$$Z = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}, \quad (1.3)$$

Zimpedance,

ffrekvence,

Ckapacita.

S rostoucí frekvencí a kapacitou klesá impedance kondenzátoru. Kondenzátory při střídavém napětí mají také schopnost vykazovat fázový posun na průbězích napětí a proudu. U ideálního kondenzátoru předbíhá průběh střídavého proudu průběh napětí o čtvrt periody (90°). U reálné součástky však může být tento posun o řádově jednotky stupňů zkreslen. To je dáno např. nežádoucím vnitřním odporem. Tato odlišnost od ideálního stavu se u reálné součástky projevuje formou tepelných ztrát.

[1], [2], [3]

3 Typy Kondenzátorů

Značení kondenzátorů je dáno normou ČSN EN 60062 ed. 2 a obsahuje jeho určující parametry (jmenovité napětí, jmenovitou kapacitu atd.), zpravidla se na kondenzátoru zobrazuje i technologie výroby kondenzátoru, která je zpravidla zastoupena třípísmenným kódem, který popisuje druh použitého dielektrika a způsob realizace elektrod. V tabulce (1) jsou uvedeny nejčastější typy realizace kondenzátorů.

Tabulka 1 Technologický kód kondenzátoru

První písmeno	Druhé písmeno	Třetí písmeno
značí, zda je dielektrikum kondenzátoru pokoveno (metalizováno)	značí, že pouzdro kondenzátoru je vyrobeno z plastu	značí, jaký typ dielektrika je použit
M	K	S - polystyren
		P - polypropylen
		C - polykarbonát
		T - polyester
		U - celulózoacetát
		V - impregnovaný polypropylen

3.1 Dělení kondenzátorů z hlediska provedení

Z tohoto hlediska lze kondenzátory rozdělit na MP kondenzátory, MK kondenzátory, styroflexové a polypropylenové, hliníkové elektrolytické atd.

3.1.1 MP kondenzátory (metalizovaný papír)

MP kondenzátory se používají převážně pro práci se stejnosměrným napětím a částečně také pro vysoký izolační odpor. Kondenzátory, které mají pokovený papír, mají samoobnovovací schopnost v případě průrazu. Dielektrikum je složeno z papíru, na který jsou napařeny vrstvy kovu ve vakuu.

Kovový papír se svine do válce, který je čelem připojen pomocí speciální pokovovací technologie. Jsou zapouzdřeny v kovovém pouzdře a impregnovány tvrdým voskem.

Tyto kondenzátory se používají tam, kde je nutné mít stálou hodnotu izolačního odporu. Používají se například jako filtrační a pulzní kondenzátory. Elektrický oblouk, který nastane při průrazu, vypaří kovovou vrstvu v poškozeném místě. Doba potřebná pro samoobnovení je kratší než 10 μ s. Pokles kapacity je menší než 100 pF.

3.1.2 MK kondenzátory (plastové pouzdro)

Výbornou vlastností je samoobnovovací schopnost. Dielektrikum se skládá z plastického povlaku, na který je vakuově nanесena kovová vrstva tloušťky přibližně 0,02 až 0,05 μm . Pokovený povlak je svinut do válcové nebo zploštělé podoby. Případně se ještě moderním způsobem upraví do sloupcové nebo svazkové konstrukce.

Elektrický oblouk, který nastane při průrazu v dielektriku, vypaří kovovou vrstvu v poškozeném místě, aniž by dielektrikum poškodil. Doba potřebná pro samoobnovení je kratší než 10 μs . Změna kapacity by měla být menší než 1% po 10^3 průrazech.

3.1.3 Styroflexové a polypropylenové kondenzátory

Jedná se o vinuté kondenzátory. Použité povlaky jsou flexibilní, biaxiálně uspořádané elektricky izolační povlaky. Styroflexová fólie je vyrobena z termoplastického materiálu, polystyrenu. Tyto kondenzátory existují ve dvou provedeních:

KS – kondenzátory s polystyrenem jako dielektrikem

KP – kondenzátory s polypropylenem jako dielektrikem

Po navinutí jsou kondenzátory zahřívány. Tento proces způsobí sražení objemu polystyrenu. Dostatečnou ochranu před vlhkostí zajišťuje hermeticky uzavřená konstrukce. Vinutá část kondenzátoru je tuhá, aby se zajistila stabilita jeho elektrických vlastností.

Tyto kondenzátory se přednostně používají v obvodech, které vyžadují kondenzátory s malou ztrátou, vysokou stabilitou kapacity a konstantní teplotní součinitel. Vlivem malých dielektrických ztrát a konstantního negativního teplotního koeficientu jsou kondenzátory obzvláště vhodné pro použití v rezonančních obvodech.

Teplotní koeficient styroflexových kondenzátorů je přibližně $-150 \cdot 10^{-6}$ [1/K]. Polypropylenové kondenzátory mají ve srovnání o něco nižší ztrátový činitel, ale lepší stabilitu. Výhodou polypropylenových kondenzátorů s teplotním koeficientem přibližně $-200 \cdot 10^{-6}$ [1/K] je jejich lepší teplotní chování v rozsahu 70 °C až 85 °C, větší odolnost proti pájení i proti kyselinám a rozpouštědlům.

3.1.4 Hliníkové elektrolytické kondenzátory

Jedná se o nejpoužívanější typ kondenzátorů používaných v napájecích i spínaných zdrojích. Představují speciální skupinu, protože jejich funkce závisí na elektrochemických procesech. Dielektrikum tvoří hliníková oxidová vrstva.

Elektrolyt slouží jako kontakt mezi katodovou fólií a oxidovou vrstvou anodové fólie. Porézní papírová vrstva udržuje elektrolyt a zároveň slouží jako oddělovač mezi anodovou a katodou fólií. Fólie jsou připevněny ke svorkám pomocí hliníkových pásků. Aby se zajistila větší spolehlivost, používá se pro připojení hliníkových pásků buď studené nebo laserové svařování.

Mezi výhody těchto kondenzátorů, které zapříčinily jejich široké používání, patří jejich vysoká objemová efektivita, která umožňuje běžně realizovat jejich kapacitu až do velikosti jednoho faradu. Další výhodou je jejich vhodnost pro vysoce zvlněné proudy spolu s vysokou spolehlivostí a velmi dobrým poměrem výkon/cena. [4]



Obr. 6 Elektrolytické kondenzátory

3.2 Dělení kondenzátorů podle funkce

3.2.1 Filtrovací (akumulační) kondenzátory

Jsou to kondenzátory pro vyhlazení pulzující složky stejnosměrného napětí. Akumulační kondenzátory jsou stejnosměrné kondenzátory, které mohou dodávat vysoké špičkové proudy podle potřeb jednotlivých zařízení. Tyto kondenzátory jsou periodicky nabíjeny a vybíjeny vysokými hodnotami proudů, takže hodnota těchto špičkových proudů značně převyšuje jmenovitou efektivní hodnotu.

Akumulační kondenzátory jsou převážně vyhlazovací kondenzátory se zesílenými proudovými cestami, aby byly schopny pracovat se špičkovým proudem. Navíc mají příznivě navrženy podmínky tepelných režimů, aby byly schopny rozptýlit do okolí relativně vysoký výkon. Mezi jejich hlavní výhody patří vysoká kapacita na jednotku objemu i hmotnosti a to, že mají posílené proudové cesty.

3.2.2 Impulzní kondenzátory

Jsou to stejnosměrné kondenzátory použité pro vstupní a výstupní proudové rázy. Jsou příležitostně nabíjeny a vybíjeny během operace v závislosti na nabíjecím čase a naopak. Pulzní kondenzátory jsou často velmi zatěžovány, aby splnily požadavky pro akumulaci velkého množství energie a rovněž byly schopny krátkodobého vybití.

Pro impulzní kondenzátory lze definovat tři druhy zátěže:

1. Vysoká intenzita pole odpovídající požadované vysoké hustotě energie.
2. Vysoká intenzita špičkového proudu z důvodu krátkodobého vybití, tedy generování vysokých mechanických sil ve velkých kondenzátorech.
3. Velká střídavá napěťová zátěž vyvolaná oscilacemi při jednotlivých zátěžích.

Krátkodobé vybíjení vyžaduje u těchto kondenzátorů jejich malou vlastní indukčnost ($L \leq 300 \text{ nH}$). Mezi jejich přednosti patří vysoká energetická kapacita, schopnost přenosu vysokého špičkového proudu a malá vlastní indukčnost.

3.2.3 Útlumové kondenzátory

Útlumové kondenzátory jsou střídavé kondenzátory, které jsou paralelně spojeny s polovodičovými součástkami. Kondenzátory jsou periodicky nabíjeny i vybíjeny, čímž špičková hodnota proudu výrazně převyšuje efektivní hodnotu proudu, pro který je kondenzátor určen.

Tyto kondenzátory jsou kromě sinusové půlvlnové zátěže podrobeny napěťovým špičkám efektu akumulování náboje a harmonickým periodickým zátěžím v případě obvodu pro řízení fáze. Jejich předností je vysoká napěťová stabilita a schopnost přenosu vysokého špičkového proudu.

3.2.4 Komutační kondenzátory

Jedná se o střídavé kondenzátory, které jsou vhodné pro potlačení přechodového stavu v polovodičových prvcích. Tyto kondenzátory jsou periodicky nabíjeny a vybíjeny, čímž špičková hodnota proudu výrazně převyšuje efektivní hodnotu.

Jsou vystaveny vysokému reaktančnímu výkonu a špičkovým proudům. Rozhodující faktor je doba přeměny stavu. V případě vysokých frekvencí (10 až 100 kHz) musí mít kondenzátor čistě kapacitní reaktanci. To znamená, že musí být navržen o nízké vlastní indukčnost. Vlastnosti, kterou musí splňovat je tepelná stabilita při vysokém reaktančním výkonu, schopnost přenosu vysokého špičkového proudu a nízká vlastní indukčnost.

3.2.5 Výkonové kondenzátory

Výkonové kondenzátory jsou střídavé kondenzátory, zapojené paralelně k indukčním spotřebičům, které mají za úkol zlepšit výkonový faktor. Výkonové kondenzátory by měly chránit zařízení generující a přenášející energii před reaktančními proudy, generovanými induktivní zátěží. Průběh napětí na zátěži je téměř vždy sinusový. Vlivem nesinusové proudové zátěže mohou vznikat v tomto kondenzátoru vysoké proudové harmonické, tento nesinusový průběh je kondenzátorem zkratován (determinace).

[4]

4 Měření na kondenzátorech

Měření probíhalo v klimatické komoře Vötsch VC 4018 Kundengerät Sim-N.



Obr. 7 Klimatická komora Vötsch VC 4018



- objem 190 litrů
- teplotní rozsah - 45 až +180°C
- vlhkostní rozsah 10 až 98%
- teplotní změna 3,5K/min chlazení, 4,0K/min ohřev
- vnitřní rozměry 580x450x750 mm
- rozsah rosného bodu -3 až +95°
- možnost programovaného řízení
- bez nutnosti externího zásobování chladícím médiem

Obr. 8 Klimatická komora Vötsch VC 4018 2

Do této komory jsme umístili měřené kondenzátory propojené pomocí svorkovnice s přívodními vodiči. Vodiče byly vyvedeny ven z komory, kde jsme kondenzátory proměřovali pomocí LCR metru ESCORT-ELC131D.



Obr. 9 LCR metr ESCORT-ELC131D

Přístroj zajišťuje průměrnou přesnost měření až 0,3% . Lze zde také nastavit toleranční režim 1%, 5% a 10%. Nachází se na něm 2 displeje. Displej L/C/R umožňuje maximální zobrazení 9999 a displej D/Q má maximální rozsah 999. Umožňuje také měnit frekvence 1kHz/120Hz a měřit hodnoty ztrátového činitele a činitele jakosti. Naměřené hodnoty nejsou absolutně přesné. Skutečná hodnota veličiny se nachází v intervalu definovaném nejistotou měření měřicího přístroje.

Chyby měření dělíme do tří kategorií. Chyby hrubé jsou zapříčiněny nepozorností obsluhy nebo poruchou přístroje a projeví se zpravidla vysoce nepravděpodobnou hodnotou naměřené veličiny, která se výrazně liší od jiných naměřených hodnot nebo od hodnoty očekávané na základě zkušenosti. Naměřené hodnoty zatížené hrubou chybou z měření vyškrtáváme. Chyby systematické (značka Δ) mají stále stejnou hodnotu. To znamená, že při opakovaných měřeních téže veličiny za stejných podmínek se naměřená hodnota nemění a je o pevnou hodnotu Δ odlišná od přesné hodnoty. Chyby náhodné (značka δ) nelze z měření zcela vyloučit, jejich hodnota kolísá případ od případu podle určitého zákona rozdělení (např. Gaussova zákona). Výsledná chyba provedeného měření je dána součtem systematické a náhodné chyby.

Jistou chybu můžeme také zaznamenat v tabulkách naměřených hodnot kondenzátorů. Přestože se hodnota koeficientu kvality u některých kondenzátorů mění, zůstává hodnota ztrátového činitele stejná, to je způsobeno rozsahem přístroje.

V této práci jsme proměřovali:

Kondenzátory svítkové:

Tesla MKP kondenzátory motorové TC 844A MKP 22 μF

Artiko kondenzátory 16 μF

NoName kondenzátory 16 μF

Kondenzátory keramické a fóliové:

Tabulka 2 Parametry měřených fóliových a keramických kondenzátorů

Č.	Typ	C [nF]	druh
1	CF2-1N0/J	1	fóliový
2	CF5-15N/J	15	fóliový
3	CF6-33N/J	33	fóliový
4	CF4-220N/J	220	fóliový
5	CKS 2N7/50V	2	keramický
6	CKS 560P/50V	0,56	keramický
7	CKS 22P/50V	0,02	keramický
8	CKS 22N/50V	22	keramický
9	MKS4-150N1KV	150	fóliový
10	FKP1 4N7/1600V	4	fóliový
11	MKS4-470N100	470	fóliový
12	MKS4-1M	1000	fóliový

Elektrolytické kondenzátory se neměřily, jelikož použitý LCR metr neumožňuje měřit tento typ kondenzátorů.

4.1 Tesla MKP kondenzátory motorové - svítkové

4.1.1 Použití

Používají se jako rozběhové nebo běhové kondenzátory pro jednofázově připojené indukční motory v provozu do nadmořské výšky 2000 m a pro další aplikace v obvodech střídavého i stejnosměrného proudu.

4.1.2 Provedení

Kondenzátor se svítkem z metalizované polypropylenové fólie, bez impregnace. Svítek je umístěn v plastovém samozhášivém pouzdru a uzavřený zálivkou. Vykazuje samoregenerační schopnost.

4.1.3 Elektrické vlastnosti

Jmenovité napětí U_n : 250 V

Jmenovitá kapacita C_n : 22 μF

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 20\%$

4.1.4 Naměřené hodnoty

Pro možnost porovnání naměřených výsledků jsme použili 3 stejné kondenzátory TC 844A MKP.

V tabulce jsou uvedeny teploty, při kterých byl kondenzátor měřen, dále kapacita při dané teplotě, ztrátový činitel D ($\text{tg} \varphi$) a činitel kvality Q . Přičemž ztrátový činitel je převrácená hodnota činitele kvality.

4.1.5 Ztrátový činitel $\text{tg} \delta$

Pro ideální kondenzátor by byl nulový ztrátový činitel. Ztrátový činitel je poměr reálné (ztrátové) složky a reaktance kondenzátoru. Kvalita kondenzátoru se hodnotí podle ztrátového činitele (čím je $\text{tg} \delta$ menší, tím je kondenzátor ideálnější - jakostnější).

Ztráty energie vznikající v kondenzátoru jsou reprezentovány především dvěma složkami:

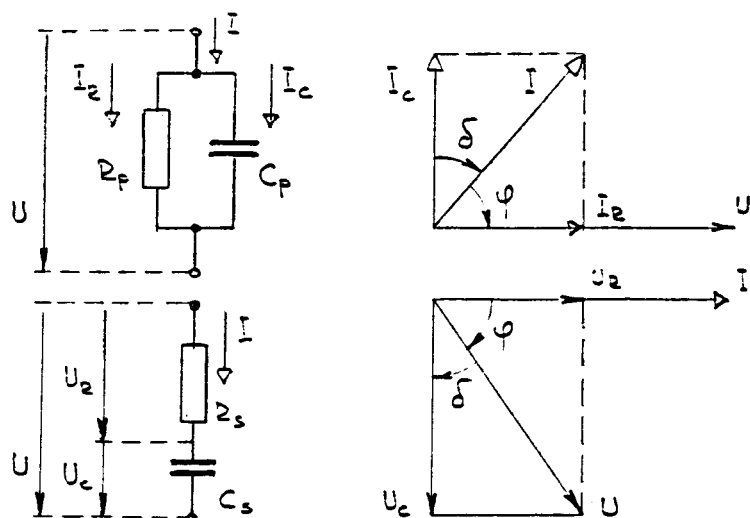
- a) Ztrátami dielektrickými, které jsou závislé na kmitočtu
- b) Ztrátami způsobenými svodem mezi elektrodami

Velikost ztrát vznikajících v kondenzátoru posuzujeme pomocí ztrátového činitele $\text{tg} \delta$, který je udáván pro kondenzátory jednotlivých typů v katalogu.

Ztrátový činitel kondenzátorů:

u kondenzátorů vzduchových	řádu 10^{-6} při $f =$ několik MHz
u keramických a slídových	řádu 10^{-4}
u kondenzátorů s umělou fólií	řádu 10^{-3}
u kondenzátorů MP	řádu 10^{-2}
u kondenzátorů elektrolytických	řádu 0,3 při $f = 50 \text{ Hz}$

zde uvedená čísla jsou jen orientační, protože ztrátový činitel je závislý na kmitočtu



Obr. 7 Paralelní a sériový ztrátový odpor kondenzátoru

Z obr. 7 plyne:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_R}{U_C} = \omega C_s R_s \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega C_p R_p} \quad (1.4)$$

Příslušný úhel δ se nazývá ztrátový úhel. Je to úhel, o který je fázový posun skutečného kondenzátoru menší než 90° . Z diagramu vyplývá:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (1.5)$$

Vzhledem ke svému fyzikálnímu významu má být ztrátový činitel $\operatorname{tg} \delta$ co nejmenší. Uvádí se vždy pro určitý kmitočet (např. 1 KHz) a teplotu, neboť na obou těchto veličinách závisí ztrátový odpor. Nejmenší ztrátový činitel mají kondenzátory vzduchové.

Činitel jakosti kondenzátoru je definován jako převrácená hodnota ztrátového činitele, tedy:

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \operatorname{tg} \varphi = \omega C_p R_p = \frac{1}{\omega C_s R_s} \quad (1.6)$$

[4]



Obr. 8 Kondenzátory Tesla TC844

Kondenzátor Tesla 1

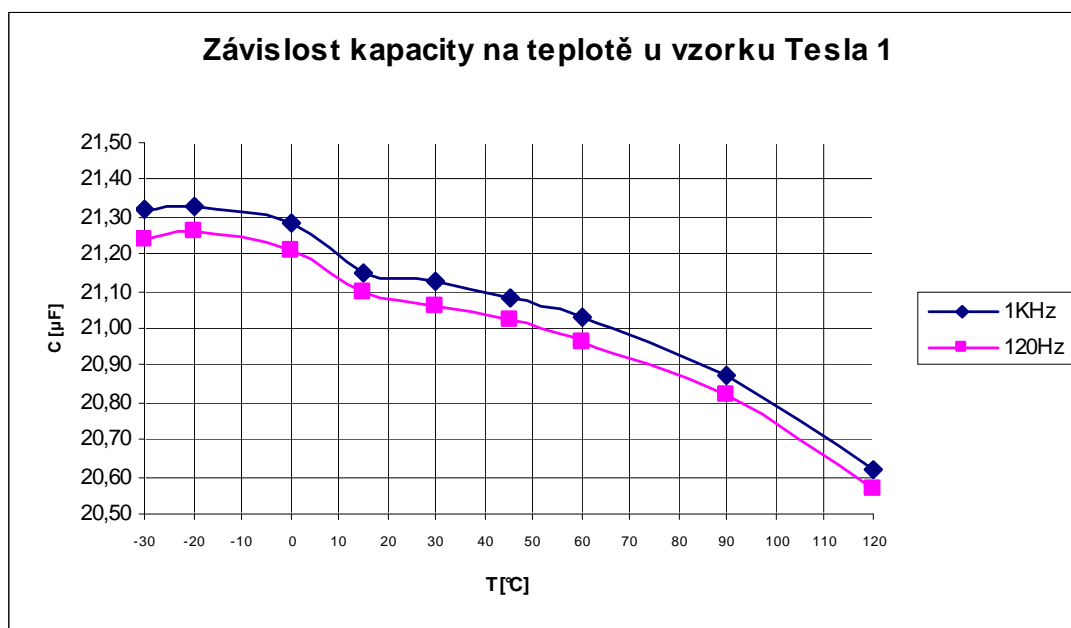
Jmenovité napětí U_n : 250 V

Jmenovitá kapacita C_n : 22 μF

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 20\%$

Tabulka 3 Hodnoty kondenzátoru Tesla 1

Tesla 1	1KHz			120Hz		
T [°C]	C [μF]	D	Q	C [μF]	D	Q
-30	21,32	0,015	63,70	21,24	0,003	336
-20	21,33	0,018	54,70	21,26	0,003	329
0	21,28	0,019	50,60	21,21	0,003	308
15	21,15	0,023	41,80	21,10	0,003	279
30	21,13	0,022	43,80	21,06	0,004	238
45	21,08	0,028	35,60	21,02	0,004	225
60	21,03	0,028	36,00	20,96	0,005	201
90	20,87	0,038	26,30	20,82	0,007	136
120	20,62	0,034	29,10	20,57	0,005	209



Graf 1 Závislost kapacity na teplotě pro kondenzátor Tesla 1

Kondenzátor Tesla 2

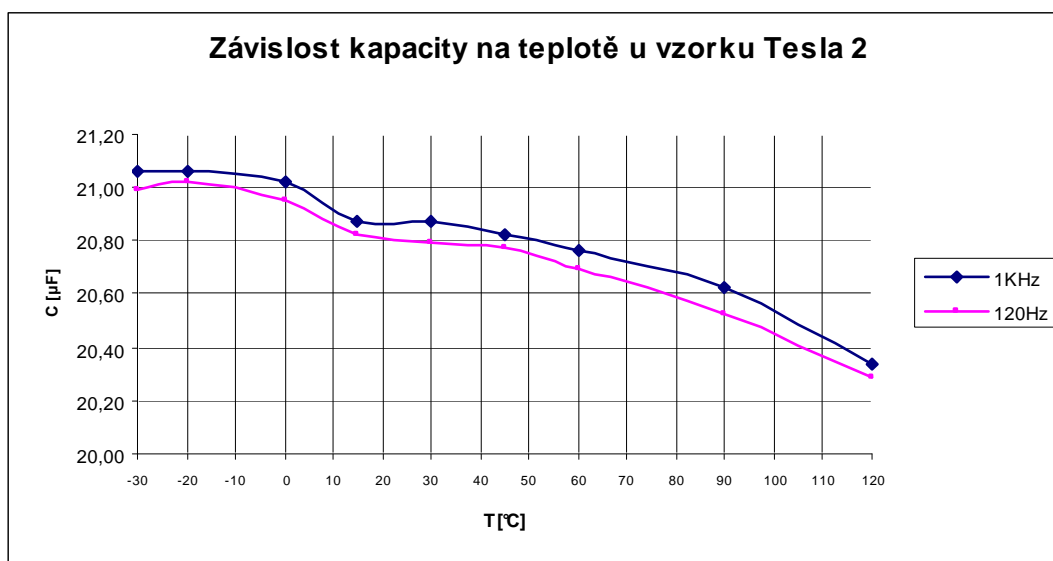
Jmenovité napětí U_n : 250 V

Jmenovitá kapacita C_n : 22 μF

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 20\%$

Tabulka 4 Hodnoty kondenzátoru Tesla 2

Tesla 2	1 KHz			120 Hz		
T [°C]	C [μF]	D	Q	C [μF]	D	Q
-30	21,06	0,025	39,10	20,99	0,004	246
-20	21,06	0,031	31,70	21,02	0,005	205
0	21,02	0,025	39,80	20,95	0,004	246
15	20,87	0,028	35,10	20,82	0,006	157
30	20,87	0,026	37,30	20,79	0,004	217
45	20,82	0,026	37,60	20,77	0,004	225
60	20,76	0,028	35,50	20,69	0,005	181
90	20,62	0,027	36,50	20,53	0,006	153
120	20,34	0,030	32,60	20,29	0,004	225



Graf 2 Závislost kapacity na teplotě pro kondenzátor Tesla 2

Kondenzátor Tesla 3

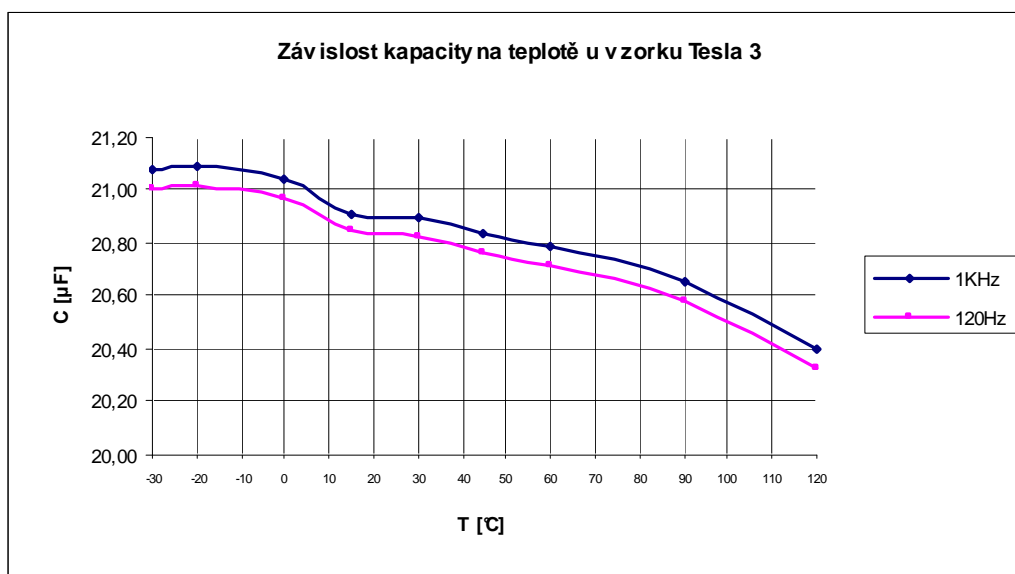
Jmenovité napětí U_n : 250 V

Jmenovitá kapacita C_n : 22 μF

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 20\%$

Tabulka 5 Hodnoty kondenzátoru Tesla 3

Tesla 3	1KHz			120Hz		
T [°C]	C [μF]	D	Q	C [μF]	D	Q
-30	21,08	0,015	64,10	21,01	0,002	366
-20	21,09	0,017	57,40	21,02	0,002	385
0	21,04	0,017	58,70	20,97	0,003	312
15	20,91	0,015	63,80	20,85	0,002	385
30	20,90	0,013	74,30	20,83	0,002	398
45	20,84	0,016	60,50	20,76	0,003	302
60	20,79	0,016	60,00	20,72	0,004	248
90	20,66	0,016	62,20	20,58	0,005	207
120	20,40	0,016	58,90	20,33	0,003	352



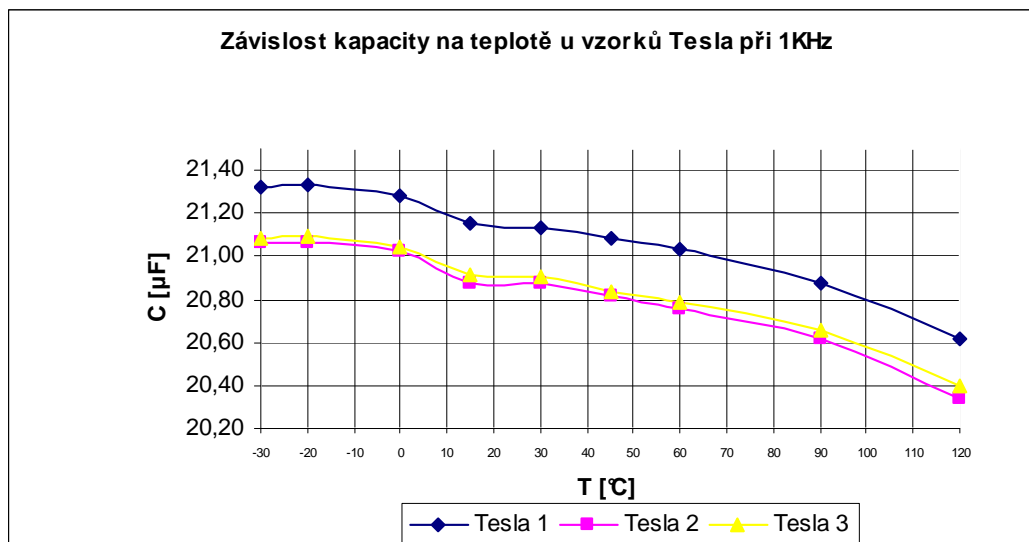
Graf 3 Závislost kapacity na teplotě pro kondenzátor Tesla 3

4.1.6 Porovnání jednotlivých kondenzátorů Tesla

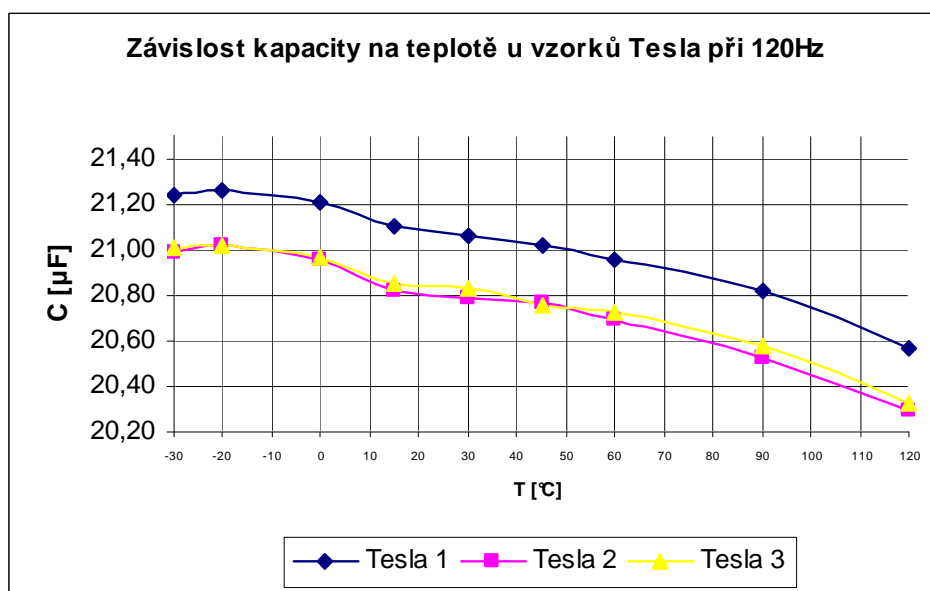
Jmenovité napětí U_n : 250 V

Jmenovitá kapacita C_n : 22 μF

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 20\%$



Graf 4 Porovnání všech kondenzátorů při kmitočtu 1KHz



Graf 5 Porovnání všech kondenzátorů při kmitočtu 120Hz

4.1.7 Výsledek měření

Kondenzátory Tesla, jako jediné z rozběhových kondenzátorů, zůstaly zcela nezměněny i při teplotě 120°C. Zůstaly zachovány jejich funkční vlastnosti i jejich struktura. Pro přesnější měření by bylo třeba zohlednit také kapacitu kabelu, který byl k jednotlivým kondenzátorům připojen.

Protože hodnoty jsou v poměru s kapacitami kondenzátorů velice malé, rozhodli jsme se kapacitu kabelu zanedbat.

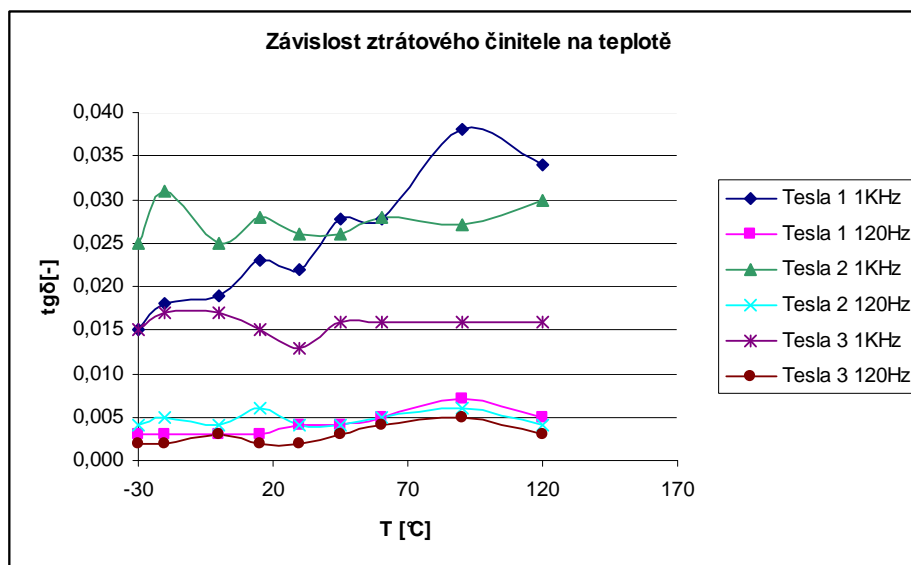
Naměřená data tohoto kabelu jsou:

Tabulka 6 Hodnoty přírodního vodiče

1KHz			120Hz		
C [pF]	D	Q	C [pF]	D	Q
0,026	0,034	29,5	0,027	0,033	33,6

Z grafů č.4 a č.5 (viz. strana 29) vyplývá, že s rostoucí teplotou kapacita kondenzátorů klesá. Předepsané hodnoty (včetně dovolené odchylky $\pm 20\%$) dosahují kondenzátory v celém rozsahu měřených teplot.

Aby bylo měření objektivní, tak jsme po každé změně teploty počkali 20 minut, aby se teplota ustálila, jelikož tyto kondenzátory mají díky svému objemu, větší tepelnou setrvačnost než měřené kondenzátory keramické a fóliové.



Graf 6 Závislost ztrátového činitele na teplotě pro různé kmitočty



Obr. 8 Měření kondenzátorů Tesla, Artiko a Noname

4.2 Artiko kondenzátory motorové – svítkové

U těchto kondenzátorů se nepodařilo najít žádné charakteristiky, jelikož výrobce žádné neposkytuje.

4.2.1 Elektrické vlastnosti

Jmenovité napětí U_n : 450 V

Jmenovitá kapacita C_n : 16 μ F

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 5\%$

4.2.2 Naměřené hodnoty

Kondenzátor Artiko 1

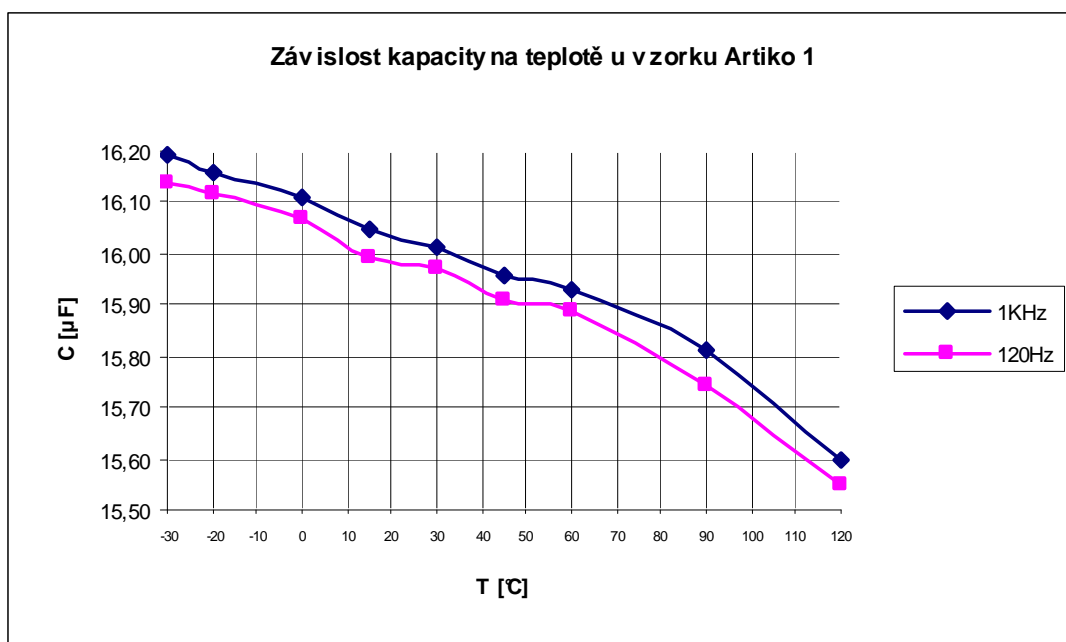
Jmenovité napětí U_n : 450 V

Jmenovitá kapacita C_n : 16 μ F

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 5\%$

Tabulka 7 Hodnoty kondenzátoru Artiko 1

Artiko 1	1KHz			120Hz		
T [°C]	C [μ F]	D	Q	C [μ F]	D	Q
-30	16,19	0,005	173,00	16,14	0,001	646
-20	16,16	0,005	175,00	16,12	0,001	673
0	16,11	0,005	169,00	16,07	0,001	658
15	16,05	0,006	162,00	15,99	0,001	566
30	16,01	0,006	156,00	15,97	0,001	683
45	15,96	0,006	155,00	15,91	0,002	382
60	15,93	0,006	149,00	15,89	0,002	475
90	15,81	0,005	145,00	15,74	0,004	241
120	15,60	0,007	136,00	15,55	0,001	700



Graf 7 Závislost kapacity na teplotě pro kondenzátor Artiko 1

Kondenzátor Artiko 2

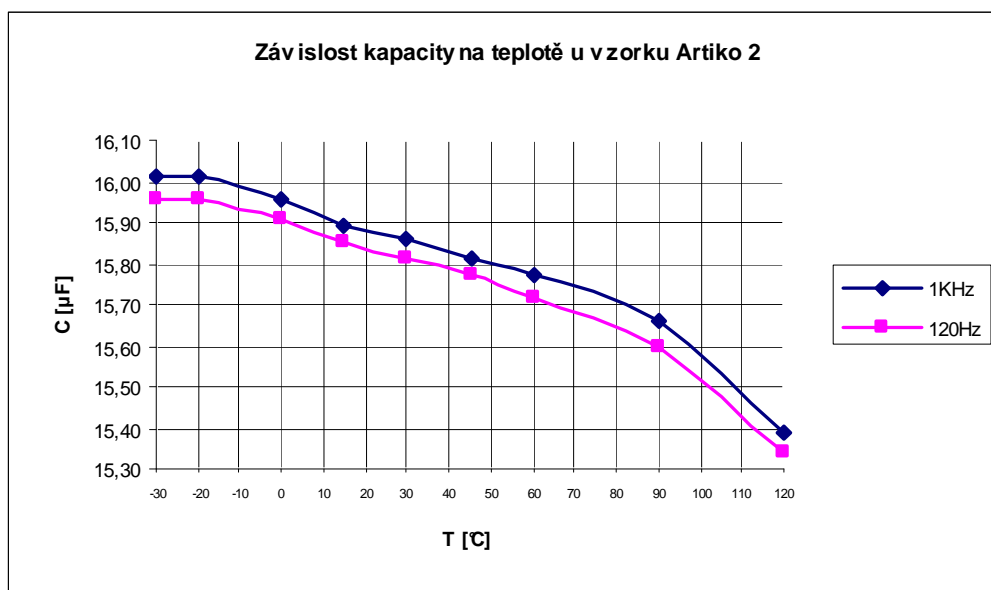
Jmenovité napětí U_n : 450 V

Jmenovitá kapacita C_n : 16 μF

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 5\%$

Tabulka 8 Hodnoty kondenzátoru Artiko 2

Artiko 2	1KHz			120Hz		
T [°C]	C [μF]	D	Q	C [μF]	D	Q
-30	16,01	0,004	243,00	15,96	0,001	767
-20	16,01	0,004	244,00	15,96	0,001	736
0	15,96	0,004	231,00	15,91	0,001	785
15	15,89	0,004	212,00	15,85	0,001	649
30	15,86	0,004	204,00	15,81	0,001	630
45	15,81	0,004	206,00	15,77	0,002	454
60	15,77	0,005	190,00	15,72	0,003	336
90	15,66	0,005	188,00	15,60	0,003	245
120	15,39	0,005	191,00	15,34	0,001	493



Graf 8 Závislost kapacity na teplotě pro kondenzátor Artiko 2

Kondenzátor Artiko 3

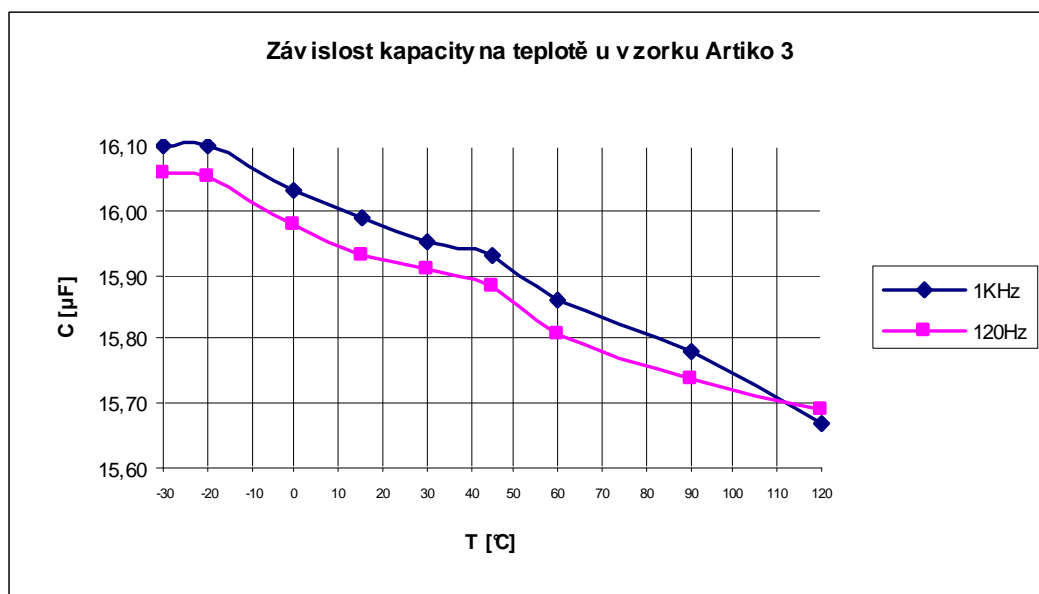
Jmenovité napětí U_n : 450 V

Jmenovitá kapacita C_n : 16 μ F

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 5\%$

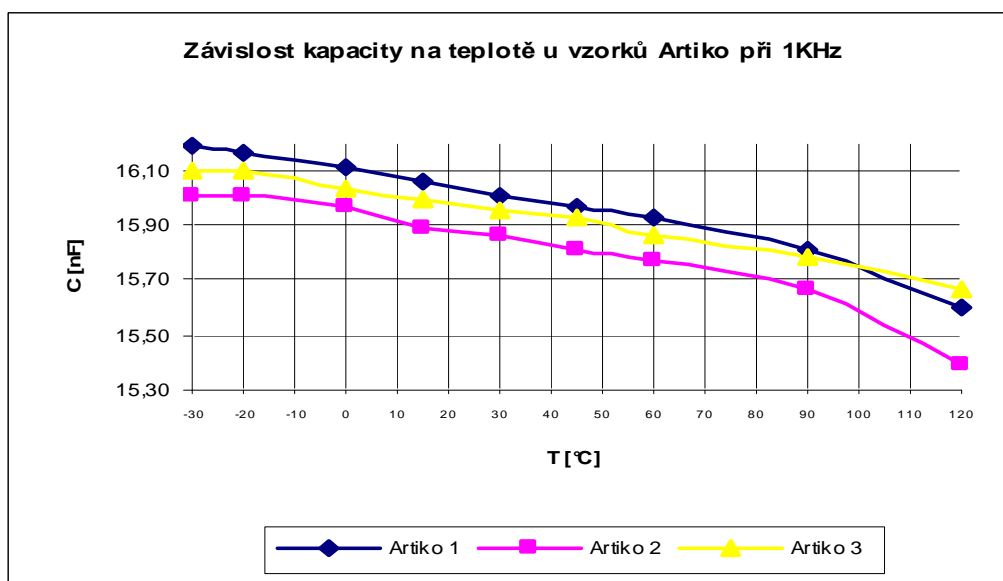
Tabulka 9 Hodnoty kondenzátoru Artiko 3

Artiko 3	1KHz			120Hz		
T [°C]	C [μF]	D	Q	C [μF]	D	Q
-30	16,10	0,004	250,00	16,06	0,001	692
-20	16,10	0,004	233,00	16,05	0,001	643
0	16,03	0,004	214,00	15,98	0,001	553
15	15,99	0,005	192,00	15,93	0,001	744
30	15,95	0,005	195,00	15,91	0,001	750
45	15,93	0,005	193,00	15,88	0,001	667
60	15,86	0,005	188,00	15,81	0,003	289
90	15,78	0,005	177,00	15,74	0,002	470
120	15,67	0,005	137,00	15,69	0,002	370

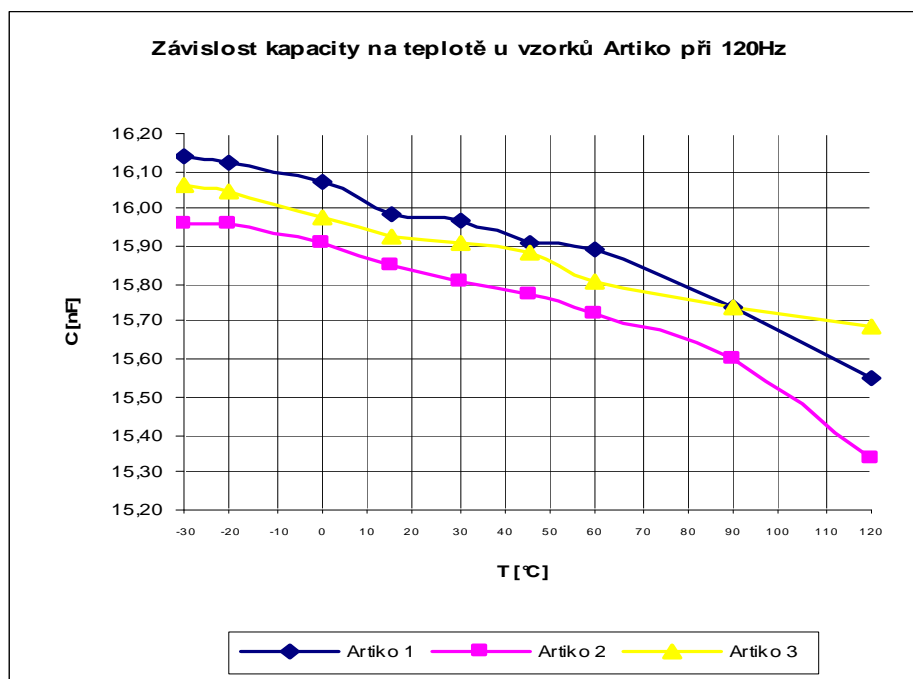


Graf 9 Závislost kapacity na teplotě pro kondenzátor Artiko3

4.2.3 Porovnání jednotlivých kondenzátorů Artiko



Graf 10 Porovnání všech kondenzátorů při kmitočtu 1KHz



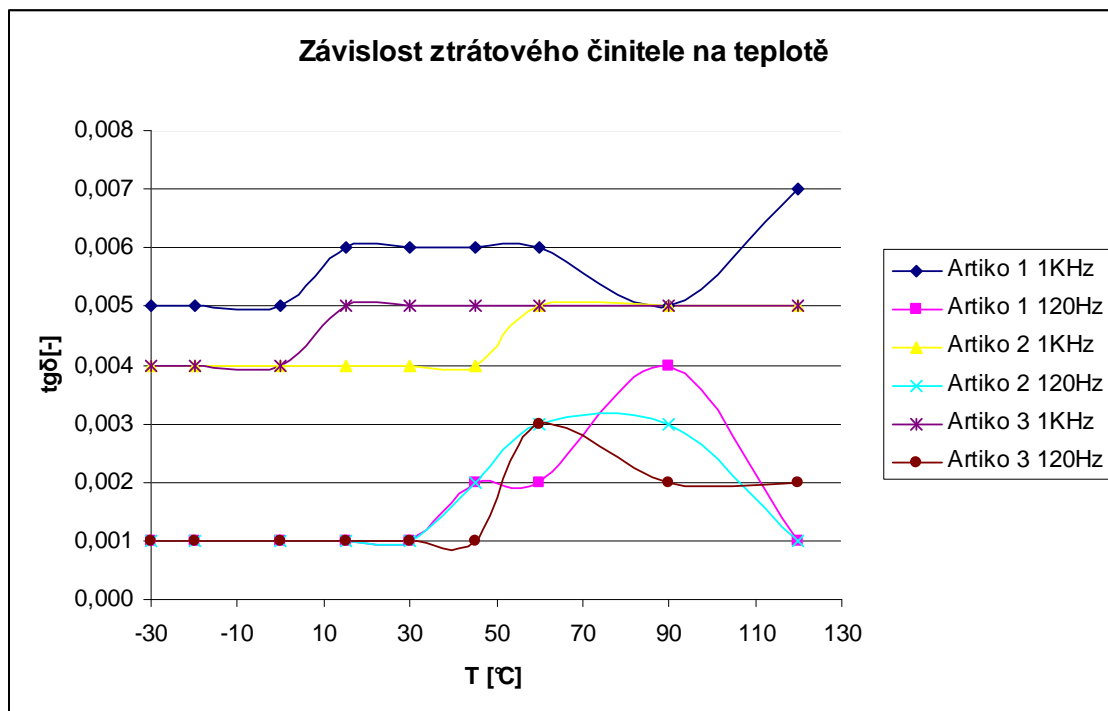
Graf 11 Porovnání všech kondenzátorů při kmitočtu 120Hz

4.2.4 Výsledek měření

Z grafů č.10 (viz. strana č.35) a č.11 vyplývá, že s rostoucí teplotou kapacita kondenzátorů klesá. Předepsané hodnoty (včetně dovolené odchylky $\pm 5\%$) dosahují kondenzátory v celém rozsahu měřených teplot.

U těchto kondenzátorů ovšem došlo při teplotě 90°C k degradaci plastového obalu a uvolnilo se plastové víko kondenzátoru. Přesto jejich užité vlastnosti zůstaly zachovány a při měření vykazovaly vlastnosti odpovídající parametrům uvedeným na štítku.

Aby bylo měření objektivní, tak jsme po každé změně teploty počkali 20 minut, aby se teplota ustálila, jelikož tyto kondenzátory mají díky svému objemu, větší tepelnou setrvačnost než měřené kondenzátory keramické a fóliové.



Graf 12 Závislost ztrátového činitele na teplotě pro různé kmitočty

4.3 Noname kondenzátory motorové - svítkové

Jedná se o kondenzátory vyrobené v Číně a není zde uveden výrobce. Proto se také k těmto kondenzátorům nepodařilo najít odpovídající charakteristiky k porovnání s naměřenými hodnotami.

4.3.1 Elektrické vlastnosti

Jmenovité napětí U_n : 450 V

Jmenovitá kapacita C_n : 16 μF

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 5\%$

4.3.2 Naměřené hodnoty

Kondenzátor Noname 1

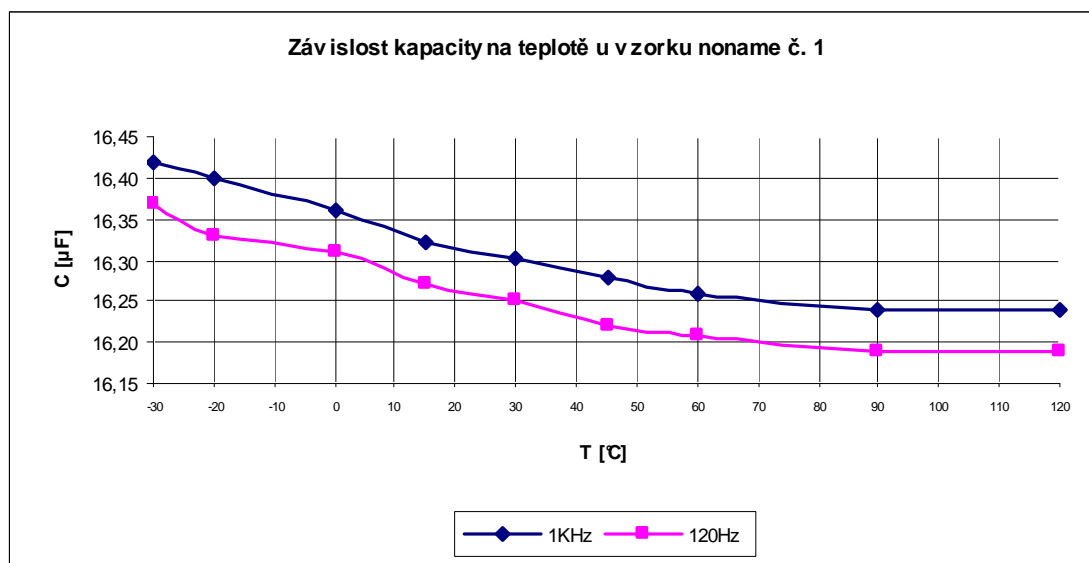
Jmenovité napětí U_n : 450 V

Jmenovitá kapacita C_n : 16 μF

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 5\%$

Tabulka 10 Hodnoty kondenzátoru Noname 1

Noname 1	1KHz			120Hz		
T [°C]	C [μF]	D	Q	C [μF]	D	Q
-30	16,42	0,004	227,00	16,37	0,001	687
-20	16,40	0,004	224,00	16,33	0,001	665
0	16,36	0,004	214,00	16,31	0,001	622
15	16,32	0,004	217,00	16,27	0,001	644
30	16,30	0,006	152,00	16,25	0,001	631
45	16,28	0,004	219,00	16,22	0,002	371
60	16,26	0,004	212,00	16,21	0,001	575
90	16,24	0,005	199,00	16,19	0,004	231
120	16,24	0,004	207,00	16,19	0,001	636



Graf 13 Závislost kapacity na teplotě pro kondenzátor Noname 1

Kondenzátor Noname 2

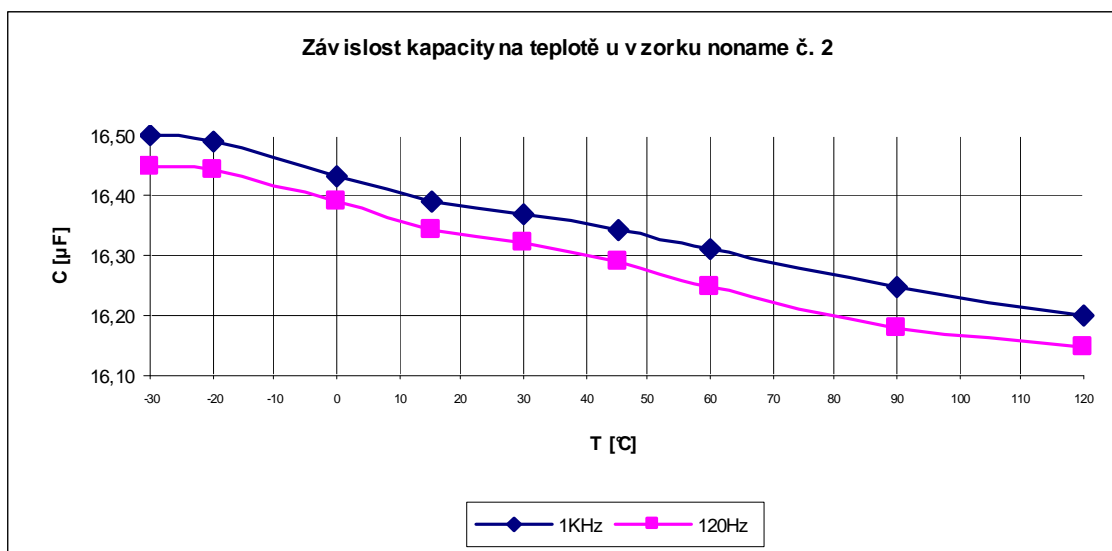
Jmenovité napětí U_n : 450 V

Jmenovitá kapacita C_n : 16 μF

Odchylka od jmenovité kapacity ΔC_n : $\pm 5\%$

Tabulka 11 Hodnoty kondenzátoru Noname 2

Noname 2	1KHz			120Hz		
T [°C]	C [μF]	D	Q	C [μF]	D	Q
-30	16,50	0,004	231,00	16,45	0,001	776
-20	16,49	0,004	214,00	16,44	0,001	626
0	16,43	0,004	216,00	16,39	0,001	680
15	16,39	0,005	175,00	16,34	0,001	606
30	16,37	0,005	169,00	16,32	0,001	581
45	16,34	0,005	184,00	16,29	0,002	455
60	16,31	0,005	178,00	16,25	0,002	338
90	16,25	0,005	190,00	16,18	0,004	247
120	16,20	0,005	191,00	16,15	0,001	688

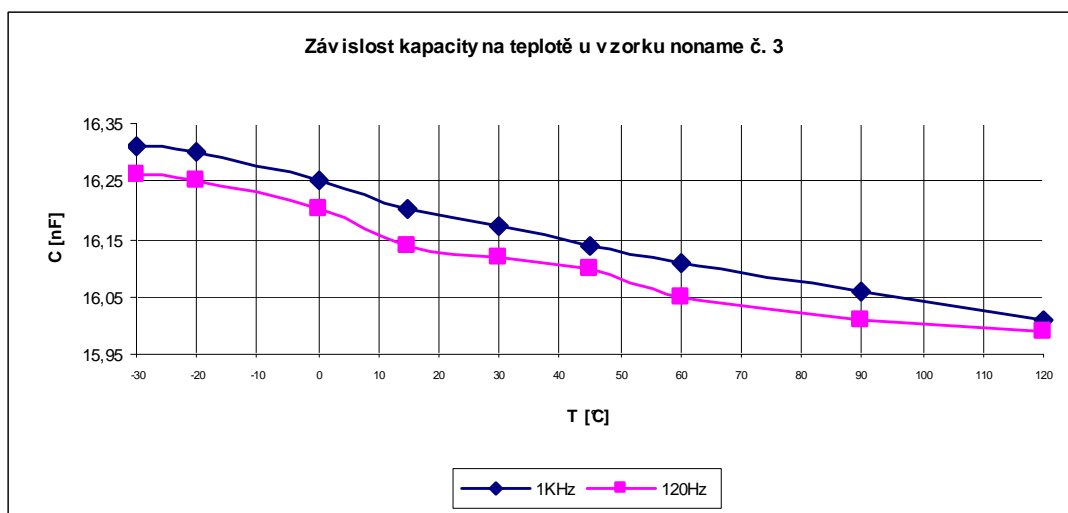


Graf 14 Závislost kapacity na teplotě pro kondenzátor Noname 2

Kondenzátor Noname 3

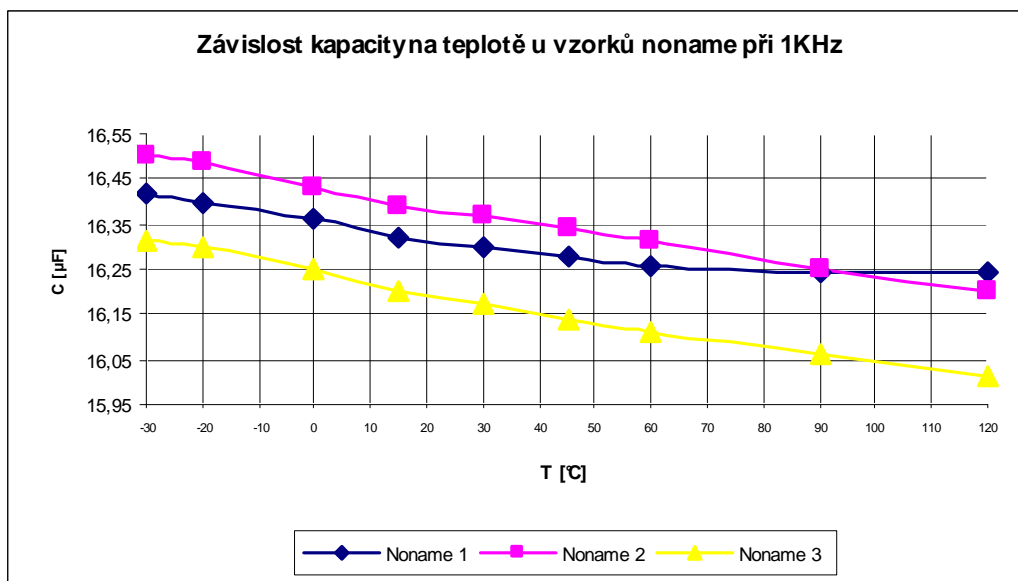
Tabulka 12 Hodnoty kondenzátoru Noname 3

Noname 3	1KHz			120Hz		
T [°C]	C [μF]	D	Q	C [μF]	D	Q
-30	16,31	0,004	226,00	16,26	0,001	582
-20	16,30	0,005	195,00	16,25	0,001	647
0	16,25	0,004	226,00	16,20	0,001	594
15	16,20	0,004	214,00	16,14	0,001	572
30	16,17	0,005	189,00	16,12	0,001	622
45	16,14	0,006	152,00	16,10	0,001	562
60	16,11	0,006	162,00	16,05	0,003	283
90	16,06	0,006	146,00	16,01	0,003	310
120	16,01	0,006	122,00	15,99	0,003	422

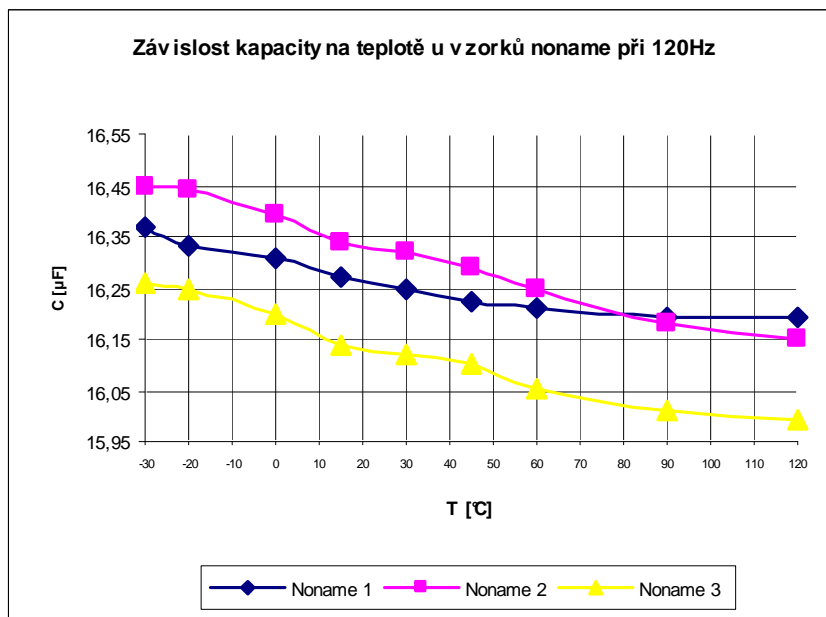


Graf 15 Závislost kapacity na teplotě pro kondenzátor Noname 3

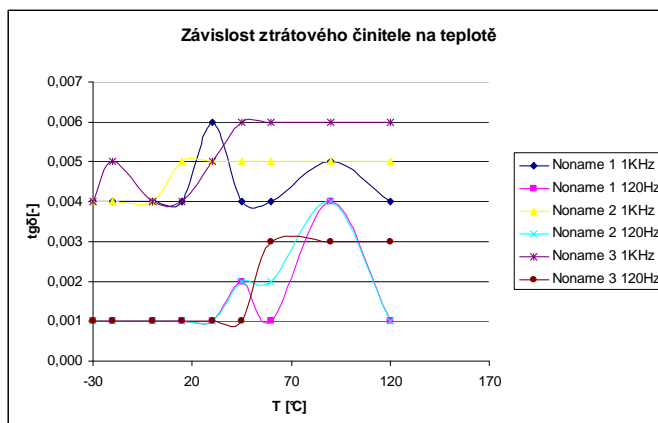
4.3.3 Porovnání jednotlivých kondenzátorů Noname



Graf 16 Porovnání všech kondenzátorů při kmitočtu 1KHz



Graf 17 Porovnání všech kondenzátorů při kmitočtu 120Hz



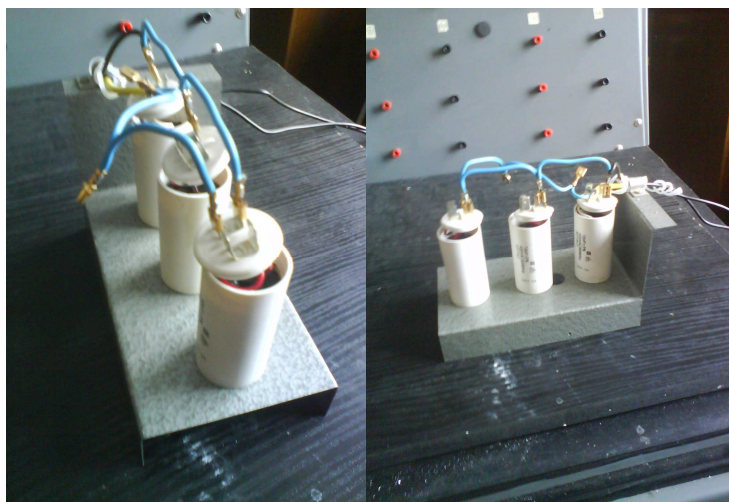
Graf 18 Závislost ztrátového činitele na teplotě pro různé kmitočty

4.3.4 Výsledek měření

Z grafů č.16 a č.17 (viz. strana č.41) vyplývá, že s rostoucí teplotou kapacita kondenzátorů klesá. Předepsané hodnoty (včetně dovolené odchylky $\pm 5\%$) dosahují kondenzátory v celém rozsahu teplot.

U těchto kondenzátorů ovšem došlo při teplotě 90°C k degradaci plastového obalu a uvolnilo se plastové víko kondenzátoru. Přesto jejich užité vlastnosti zůstaly zachovány a při měření vykazovaly vlastnosti odpovídající parametrům uvedeným na štítku.

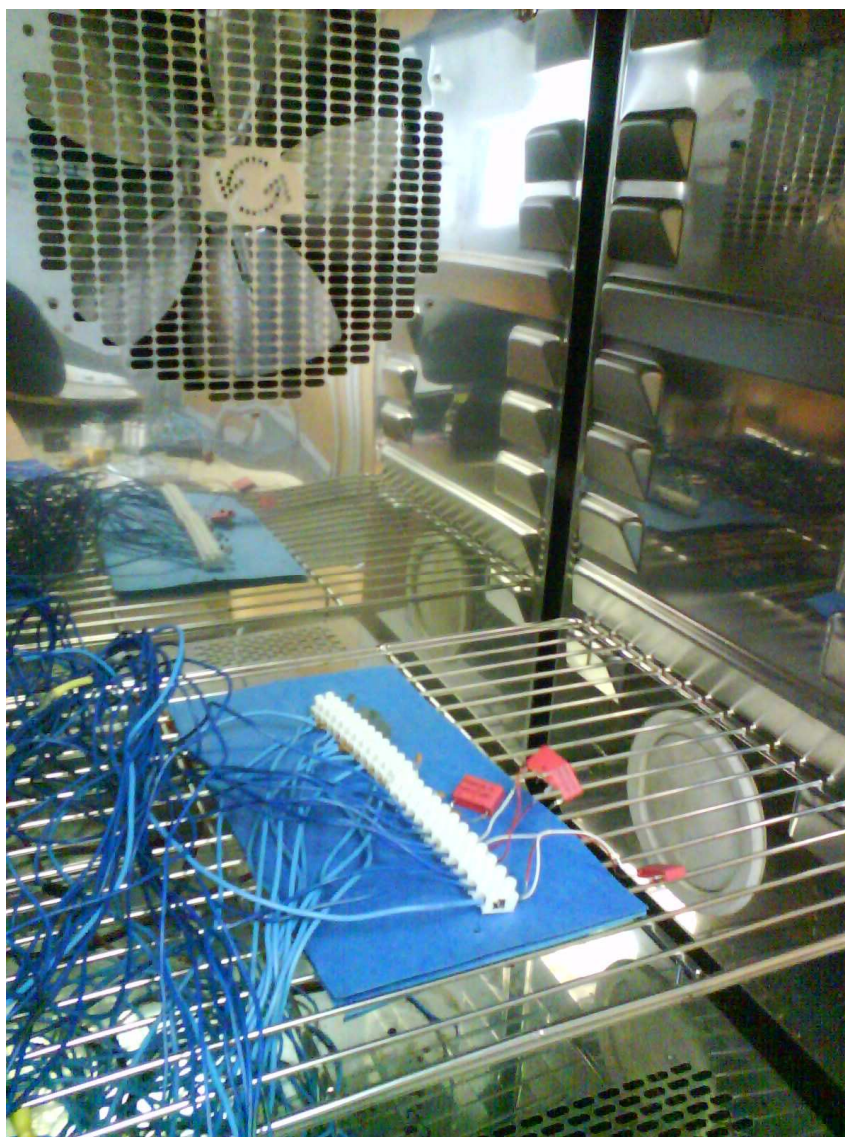
Aby bylo měření objektivní, tak jsme po každé změně teploty počkali 20 minut, aby se teplota ustálila, jelikož tyto kondenzátory mají díky svému objemu, větší tepelnou setrvačnost než měřené kondenzátory keramické a fóliové.



Obr. 9 Poškození kondenzátorů po zahřátí na teplotu 90°C

4.4 Kondenzátory fóliové a keramické

V této části jsme proměřili 12 různých kondenzátorů, které jsme umístili na elektrotechnickou lepenku, aby nedocházelo k dlouhé tepelné odezvě při zahřívání. U těchto kondenzátorů je tepelná setrvačnost nulová. Naměřená data a grafy jsou v příloze č.1.



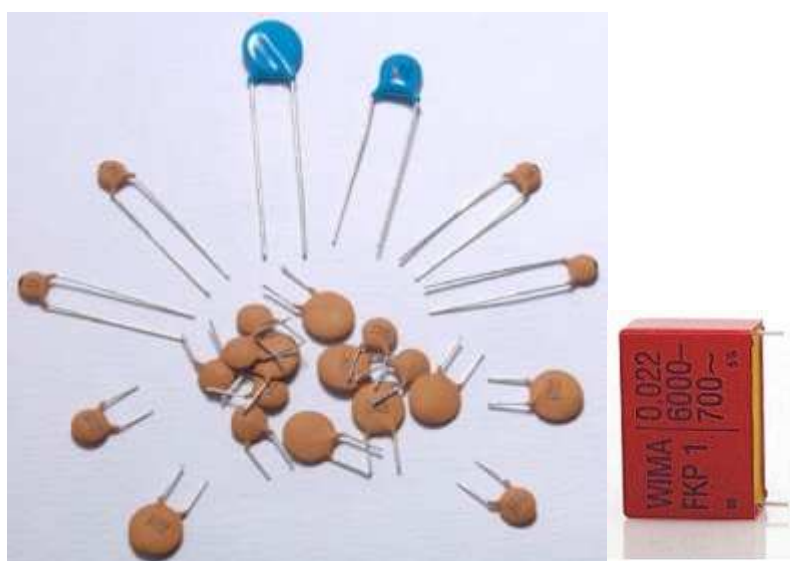
Obr. 10 Měření kondenzátorů fóliových a keramických

V této části měření jsme proměřili následující druhy kondenzátorů:

Tabulka 13 Parametry měřených fóliových a keramických kondezátorů

Č.	Typ	C [nF]	druh
1	CF2-1N0/J	1	fóliový
2	CF5-15N/J	15	fóliový
3	CF6-33N/J	33	fóliový
4	CF4-220N/J	220	fóliový
5	CKS 2N7/50V	2	keramický
6	CKS 560P/50V	0,56	keramický
7	CKS 22P/50V	0,02	keramický
8	CKS 22N/50V	22	keramický
9	MKS4-150N1KV	150	fóliový
10	FKP1 4N7/1600V	4	fóliový
11	MKS4-470N100	470	fóliový
12	MKS4-1M	1000	fóliový

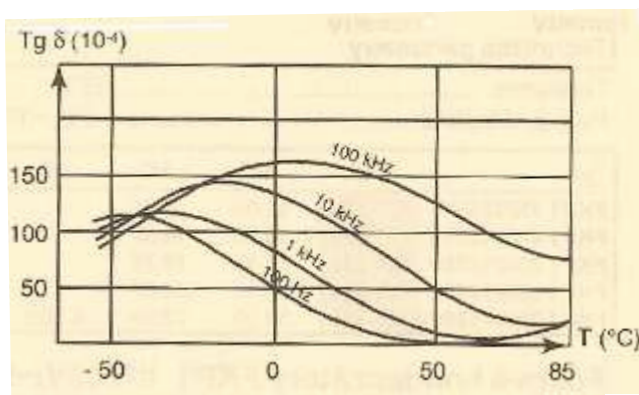
[5]



Obr. 11 Kondenzátory řady CKS a kondenzátor FKP1

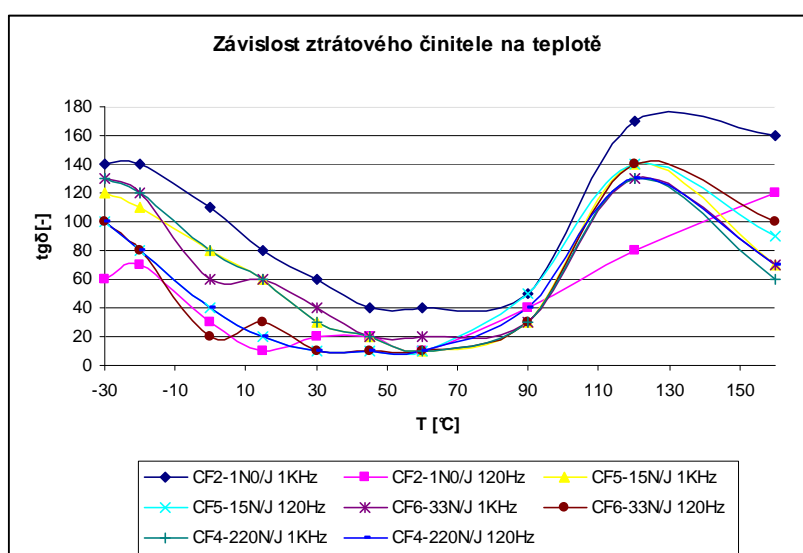
5 Porovnání výsledků měření s údaji výrobce

U fóliových kondenzátorů CFx uvedl výrobce tuto závislost velikosti ztrátového činitele na teplotě:



[5]

Obr. 11 Závislost ztrátového činitele na teplotě - udaná výrobcem



Graf 19 Závislost ztrátového činitele na teplotě – skutečná

Výrobce udává hodnoty ztrátového činitele pro 4 frekvenční rozsahy. My jsme byli schopni proměřit pouze dva, ale z grafu lze vidět, že v rozsahu 1kHz a 120Hz odpovídají křivky údajům v katalogu. Výrobce prověřoval kondenzátory pouze do teploty 85°C, kdy ztrátový činitel neustále klesá. Jak ale můžeme vidět, od teploty 90°C začíná prudce stoupat, nejzřetelnější je to u teploty 120°C. Při dalším zvyšování teploty již opět ztrátový činitel klesal.

6 Závěr

Kondenzátory jsou základní obvodové součástky a nalezneme je ve většině elektrotechnických aplikací. Proto výrobci vyvinuli mnoho typů pro různá zapojení se specifickými požadavky na jeho vlastnosti. Součástí této práce je popis typů kondenzátorů a jejich vlastností.

V praktické části jsme proměřovala kondenzátory fóliové, keramické a svitkové. Teplotní rozsah měření jsem si zvolila od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až po $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ (u fóliových a keramických kondenzátorů) a od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až po $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (u svitkových kondenzátorů). Rozběhové motorové kondenzátory svitkové jsem již dále nezahřívala, jelikož při teplotě $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ došlo k degradaci jejich plastového víka.

Vzhledem k tomu, že na jednom typu svitkových kondenzátorů nebyl uveden výrobce a ani distributor nebyl schopen zjistit jeho původ, nebylo možno tento kondenzátor blíže specifikovat. Zjistila jsem, že výrobci ve svých katalozích ve většině případů neuvádějí charakteristiky teplotní závislosti. Je zde uveden pouze teplotní rozsah, pro který jsou kondenzátory navrženy. U fóliových kondenzátorů CFx uvedl výrobce teplotní charakteristiku a proto jsem ji mohla porovnat s výsledky měření a zjistila jsem, že se výsledné grafy shodují. Dále výrobci uvádějí toleranci pro hodnotu kapacity kondenzátorů a ta se ve všech zkoumaných případech shodovala s uvedenými odchylkami. Závislost ztrátového činitele na teplotě zřejmě neuvádějí z důvodu, že hodnoty ztrátového činitele velmi kolísají.

7 Literatura

- [1] SCHOMMERS, A.: *Elektronika tajemství zbavená - kniha 2 - pokusy se střídavým proudem*, nakladatelství HEL, 1. vydání, v roce 1998, Ostrava, ISBN 80-86167-01-1, 160 stran
- [2] VOBECKÝ, J. ZÁHLAVA, V.: *Elektronika - součástky a obvody, principy a příklady*, nakladatelství GRADA publishing, 3. vydání, v roce 2005, Praha, ISBN 80-247-1241-5, 220 stran
- [3] BEZDĚK, M.: *Elektronika I.*, nakladatelství Kopp, 1. vydání, v roce 2002, České Budějovice, ISBN 978-80-7232-321-0, 272 stran
- [4] KREJČÍŘÍK, A.: *Napájecí zdroje III.*, nakladatelství BEN, 1. vydání, v roce 1999, Praha, ISBN 80-86056-56-2, 349 stran
- [5] <http://www.gme.cz/cz/>, 19. 3. 2010